

ПРИМЕНЕНИЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ РАДИОЛОКАТОРОВ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ И ДИАГНОСТИКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Разевиг В.В. , Васильев И.А., Журавлев А.В., Ивашов С.И.*

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Рассматриваются примеры применения голографических подповерхностных радиолокаторов серии РАСКАН при обследовании реальных строительных объектов. Показано, что радиолокаторы имеют достаточно высокую эффективность при строительстве или ремонте зданий и сооружений и во многих случаях оказываются почти единственным средством, позволяющим осуществить неразрушающий контроль полов, стен и других строительных конструкций.

Введение

Значительные трудности при проведении реконструкций и ремонтов в зданиях и сооружениях возникают из-за отсутствия подробной технической документации на объект. В случае старых сооружений документация может и не сохраниться. А при ремонте, выполняемом несколькими бригадами строителей, в условиях российской действительности совершенно обычной является ситуация, когда бригада осуществляющая, например, разводку к батареям отопления с помощью гибких пластиковых труб, закладываемых в бетонную стяжку пола, совершенно не заботится о том, что на следующем этапе в этом помещении будет производиться укладка паркета, и никак не документирует расположение этих труб. Перед укладкой паркета необходимо прикрепить к полу дюбелями фанерные листы, и при этом не повредить трубы. И ситуации с отсутствием документации возникают сплошь и рядом не только с трубами в полу, но и электрическими кабелями в стенах, и т. д. Поэтому оборудование, позволяющее относительно точно определять положение скрытых в строительных конструкциях объектов, является крайне полезным при строительстве и ремонте.

Необходимо отметить, что использование рентгеновских установок при диагностике строительных конструкций затруднено в первую очередь тремя обстоятельствами:

- небезопасностью их использования из-за наличия проникающего излучения;
- возможностью работы только при двухстороннем подходе в обследуемой конструкции, что во многих случаях невозможно реализовать
- относительно высокой стоимостью рентгеновских самих установок и их обслуживания.

Голографические подповерхностные радиолокаторы серии РАСКАН свободны от этих недостатков. Их безопасность обеспечивается низким уровнем излучения - на два порядка меньше излучения мобильного телефона [1]; конструкция локаторов предназначена для обследования конструкций при одностороннем подходе, а стоимость приборов в несколько раз ниже традиционных видеоимпульсных подповерхностных

* Email: vrazevig@rslab.ru

радиолокаторов. Конструкция радиолокаторов была разработана сотрудниками МГТУ им. Н.Э. Баумана, за что они получили премию Правительства РФ. Локаторы данного типа производятся в только России и не имеют зарубежных аналогов.

Радиолокаторы серии РАСКАН

Подповерхностные радиолокаторы серии РАСКАН, производимые в настоящее время серийно, позволяют видеть объекты, расположенные в толще стены или пола на глубине до 20-30 см, причем материал, из которого изготовлен объект, не важен, нужно лишь только, чтобы диэлектрические свойства объекта отличались от свойств окружающей его среды [2, 3]. Видны даже пустоты, например, вентиляционный канал в кирпичной стене. Для обследования строительных конструкций в первую очередь предназначены два прибора из серии – это РАСКАН-4/4000 с частотой зондирования в районе 4 ГГц (рис. 1) и РАСКАН-4/2000 с частотой 2 ГГц (рис. 2). Первый радиолокатор больше подходит для работы по стенам, второй – по полу [3, 5].



Рис. 1 – Антенна радиолокатора РАСКАН-4/4000



Рис. 2 – Антенна радиолокатора РАСКАН-4/2000

Антенны приборов через блок управления подключаются к USB-порту любого персонального компьютера. В компьютер устанавливается специальное программное обеспечение, никакой другой доработки компьютера не требуется.

Радиолокатор РАСКАН состоит из антенны, генератора и двух приемников параллельной и скрещенной поляризаций излучения. Непрерывный немодулированный сигнал излучается на пяти рабочих частотах, распределенных равномерно в диапазоне около 0,5 ГГц. Выбор ширины полосы и количества рабочих частот определяется требованием обеспечения достаточного контраста объекта хотя бы на одной из частот. Все процедуры с отраженным сигналом осуществляются по специально разработанным программам в реальном масштабе времени. Изображение исследуемого объекта (рис. 3)

формируется на экране компьютера и может подвергаться последующей обработке с целью улучшения его качества с помощью программ обработки изображений.

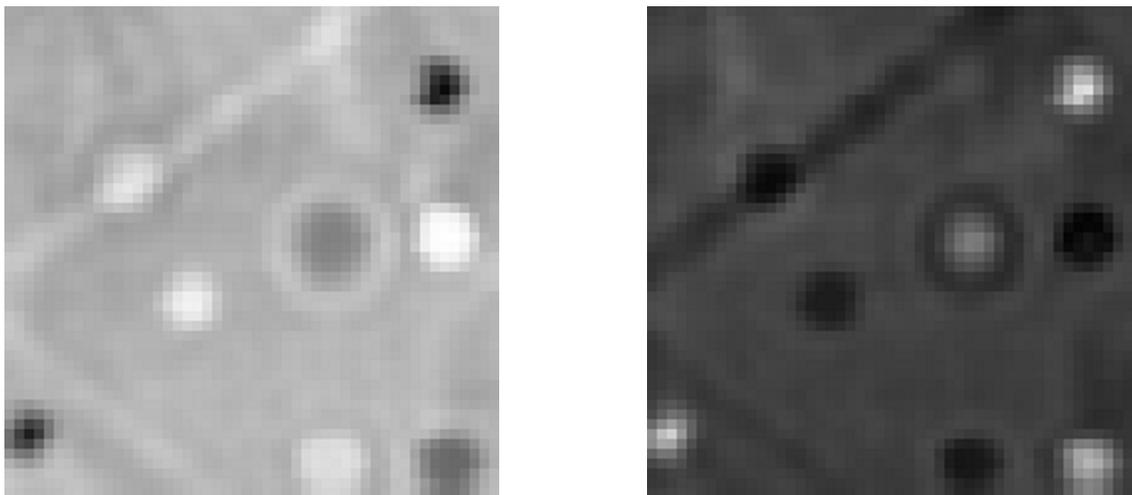
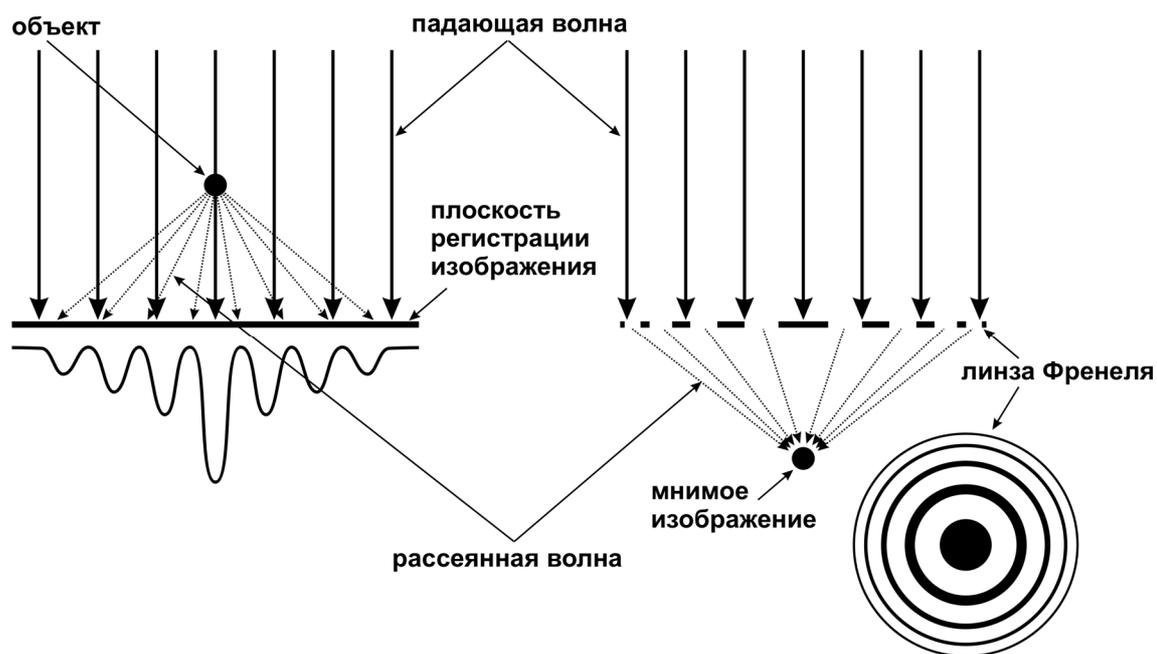


Рис. 3 – Радиоизображение монет и проводов, полученное радиолокатором РАСКАН-4/4000 на двух рабочих частотах

Для пояснения принципа получения изображения в голографическом радиолокаторе проведем оптическую аналогию, рис. 4. Пусть плоская монохроматическая волна с постоянной фазой, называемая опорной, падает на точечный объект и рассеивается на нем. В результате интерференции опорной и рассеянной волн на плоском экране, расположенном на некотором расстоянии за объектом, образуется интерференционная картина. Если поверхность экрана расположена по нормали к направлению распространения опорной волны, интерференционная картина представляет собой линзу Френеля. После проявления полученной картины и повторного облучения экрана опорной волной за экраном возникает изображение объекта.



а)

б)

Рис. 4 – *Регистрация простейшей оптической голограммы а) и ее восстановление б)*

В голографическом подповерхностном радиолокаторе типа РАСКАН роль опорной волны играет сигнал прямого прохождения из передающей антенны в приемную. Отметим также, что специфика сред, зондируемых подповерхностными радиолокаторами, такова, что интерференционная картина образуется только при достаточно низком уровне поглощения электромагнитных волн в среде. В приведенном на рис. 3 примере для демонстрации волновой природы регистрируемого изображения использовалась относительно прозрачная для волн гигагерцового диапазона среда, представленная листами сухой штукатурки.

Результаты, полученные на реальных объектах

Обследование здания Сената

При реконструкции здания Сената в Санкт-Петербурге перед размещением в нем Конституционного суда России возникла проблема, связанная с тем, что во всех помещениях здания были уложены трубы теплого пола (укладка типа «змейка»), и их местоположение не было документировано. По технологии, перед укладкой паркета к бетонному основанию пола должны были быть пришиты листы фанеры размером 76×76 см, что невозможно было сделать из-за опасения повредить трубы. Кроме того, под поверхностью бетонного пола располагались электрические и связные коммуникации, а также стальная арматурная сетка. Для определения точного расположения труб теплого пола использовался радиолокатор РАСКАН-4/2000.

Пол в обследуемом помещении был разбит на фрагменты, после получения изображения каждого фрагмента, оператором проводился анализ изображения, и мелом прямо на полу наносилось истинное положение найденных труб теплого пола и электрических кабелей (рис. 5).

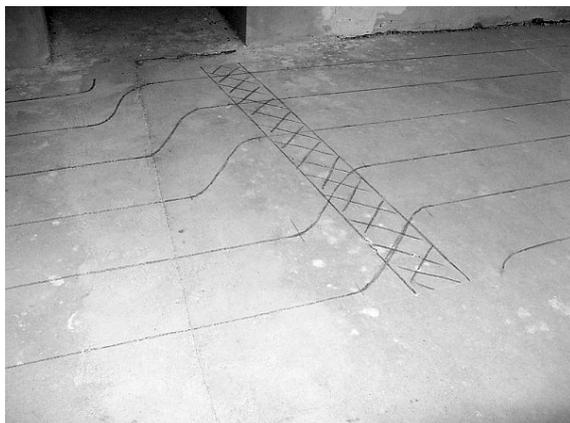


Рис. 5 – *Нанесенное на поверхность пола положение труб и кабелей*

На рис. 6 приведено: а) сшитое радиоизображение обследуемого участка, на котором видны трубы теплого пола; б) изображение после цифровой обработки [3]; в) полученный

чертеж внутренней структуры пола. Общий размер полученного изображения: 1.70×8.04 м.

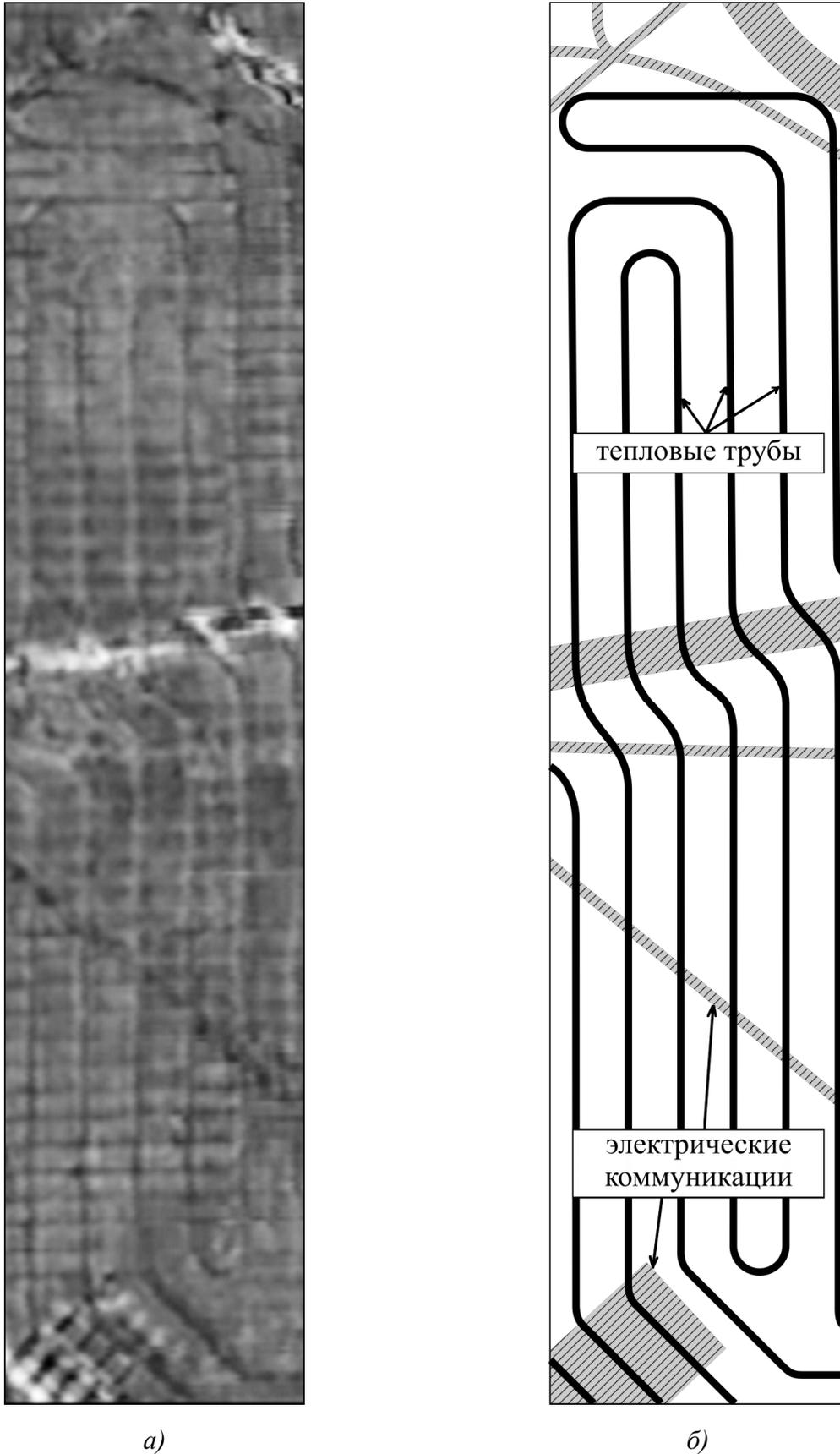


Рис. 6 – Результаты зондирования:

- а) радиоизображение обследуемого участка пола;*
- б) чертеж внутренней структуры пола по результатам измерений*

Обследование частного дома

В подмосковном частном доме возникла ситуация, описанная во введении. Во всем доме подвод воды к батареям отопления был выполнен с помощью пластиковых труб (рис. 7), заложённых в бетонную стяжку пола. Работа выполнялась сотрудниками Лаборатории с помощью радиолокатора РАСКАН-4/2000, смонтированного на трехколесном шасси. При использовании шасси сканирование одного фрагмента поверхности происходит в автоматическом режиме без участия оператора.



Рис. 7 – Отрезок пластиковой трубы

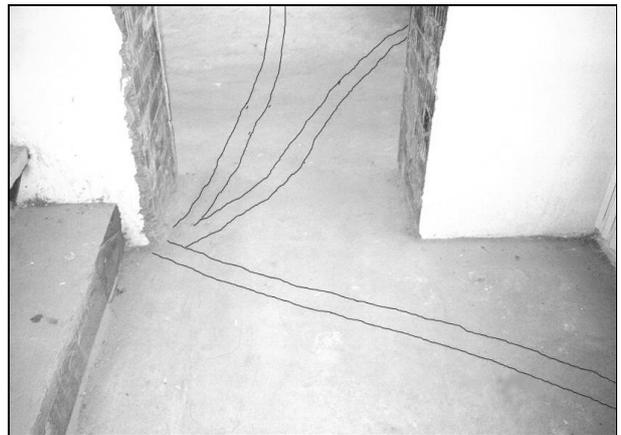


Рис. 8 – Нанесенное мелом на поверхность пола истинное положение труб

Благоприятным фактором с точки зрения производительности являлось то обстоятельство, что для каждой трубы было известно местоположение входа и выхода – с одной стороны трубы подсоединялись к коллектору, а с другой к батареям. Поэтому не было необходимости проводить сплошное сканирование всей поверхности, сканирования начиналось от каждой батареи, строки сканирования проходили поперек трубы. Шаг в направлении, перпендикулярном строкам сканирования, был выбран большим – 10 см, что также увеличивало производительность. Большой шаг сканирования можно устанавливать для протяженных объектов, радиус закругления которых не может быть слишком маленьким (другими словами, на участке 10 см труба не может резко изогнуться, соответственно, не может пропасть с изображения). После получения изображения каждого фрагмента положение труб определялось относительно антенны локатора в местной системе координат. Истинное положение труб наносилось мелом на поверхность пола по мере продвижения локатора вдоль исследуемой трассы (рис. 8).

На рис. 9 приведена картина расположения пластиковых труб в самом большом помещении. Отчетливо видны трассы расположения труб в виде непрерывных линий. Изменение контраста линий по их длине объясняется изменением глубины их заложения. Обследование помещения площадью 300 м² было произведено в течение одного рабочего дня. При этом идентифицировано тридцать трасс с общей протяженностью около 200 м.

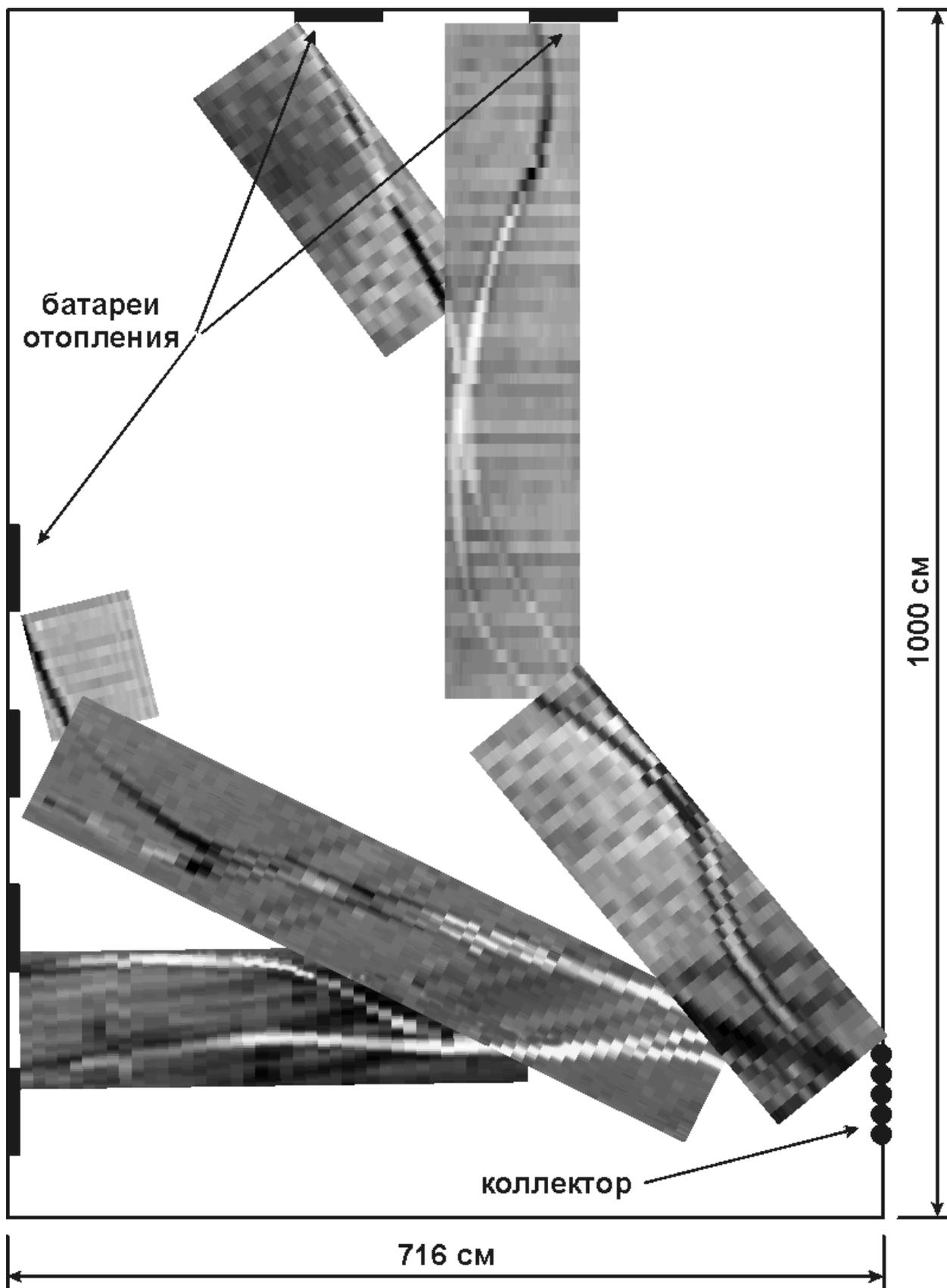


Рис. 9 – Радиоизображение пластиковых труб в бетонной стяжке пола

Примеры изображений при работе по стенам

Приведем несколько изображений, полученных радиолокатором РАСКАН-4/4000 при работе по стенам в различных помещениях (рис. 10).

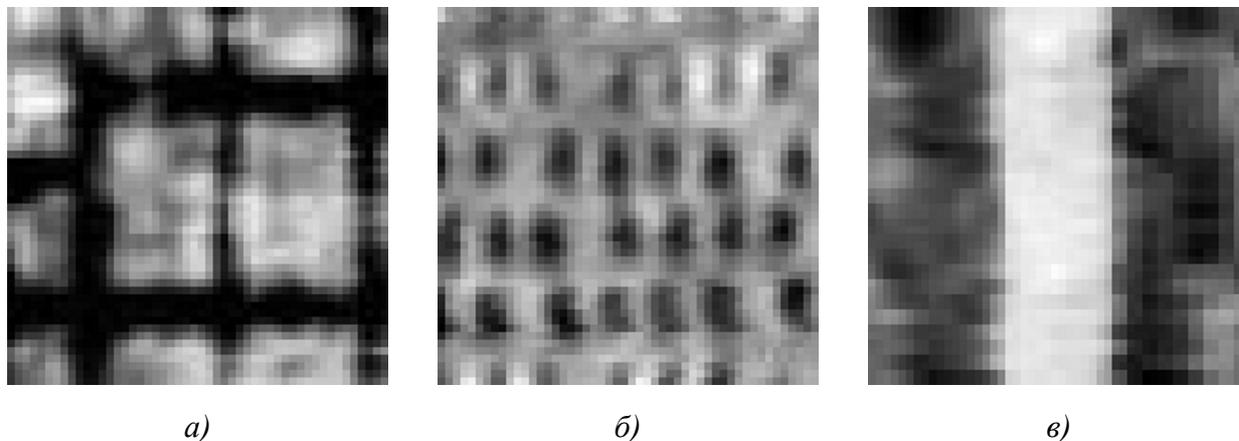


Рис. 10 – Примеры изображений:

а) радиоизображение фрагмента железобетонной стены здания (хорошо видно нарушение структуры); б) радиоизображение фрагмента стены из шлакобетонных блоков; в) радиоизображение вентиляционного канала в бетонной стене

Кроме обследования строительных конструкций голографические подповерхностные радиолокаторы серии РАСКАН нашли применение и технологических целях, в частности, при обследовании теплозащитных покрытий космических аппаратов [6, 7]. Другим возможным применением данной технологии является гуманитарное разминирование [8, 9].

Заключение

Радиолокаторы серии РАСКАН показали достаточно высокую эффективность при строительстве или ремонте зданий и сооружений. Хотя они подходят не для всех ситуаций (т.к. их применение ограничено небольшими глубинами), во многих случаях они оказываются единственным средством, позволяющим осуществить неразрушающий контроль полов, стен и других строительных конструкций.

Литература

1. Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.01.09.650.П.041358.10.05 от 19.10.2005.
2. S. Ivashov, V. Razevig, I. Vasilyev, A. Zhuravlev, T. Bechtel, L. Capineri, The Holographic Principle in Subsurface Radar Technology, International Symposium to Commemorate the 60th Anniversary of the Invention of Holography, Springfield, Massachusetts USA, October 27-29, 2008, pp. 183-197.

3. V. V. Razevig, S. I. Ivashov, A. P. Sheyko, I. A. Vasilyev and A. V. Zhuravlev, An example of holographic radar using at restoration works of historical building, Progress In Electromagnetics Research Letters, Vol. 1, 173–179, 2008.
4. С.И. Ивашов, И.А. Васильев, А.В. Журавлев, В.В. Разевиг, Разработка технологии голографических подповерхностных радиолокаторов и ее применение, Успехи современной радиоэлектроники, №1-2, 2009, стр.5-18.
5. Ivashov S.I., Makarenkov V.I., Razevig V.V., Sablin V.N., Sheyko A.P., Vasiliev I.A. Concrete Floor Inspection with Help of Subsurface Radar. Eight International Conference on Ground-Penetrating Radar, GPR'2000, May 23-26, 2000, University of Queensland, Gold Coast, Queensland, Australia, pp. 552-555.
6. T. Lu, C. Snapp, T.-H. Chao, A. Thakoor, T. Bechtel, S. Ivashov, I. Vasiliev. Evaluation of holographic subsurface radar for NDE of space shuttle thermal protection tiles, Sensors and Systems for Space Applications. Proceedings of SPIE, Volume 6555, 2007.
7. S.I. Ivashov, I.A. Vasiliev, T.D. Bechtel, C. Snapp, Comparison between Impulse and Holographic Subsurface Radar for NDT of Space Vehicle Structural Materials, Progress in Electromagnetics Research Symposium 2007, Beijing, China, March 26-30, 2007, pp. 1816-1819.
8. L. Capineri, S. Ivashov, T. Bechtel, A. Zhuravlev, P. Falorni, C. Windsor, G. Borgioli, I. Vasiliev, and A. Sheyko, Comparison of GPR Sensor Types for Landmine Detection and Classification, 12th International Conference on Ground Penetrating Radar, June 16-19, 2008, Birmingham, UK.
9. S.I. Ivashov, V.V. Razevig, A.P. Sheyko, I.A. Vasilyev, A Review of the Remote Sensing Laboratory's Techniques for Humanitarian Demining, Proceedings of International Conference on Requirements and Technologies for the Detection, Removal and Neutralization of Landmines and UXO, EUDEM2-SCOT-2003, 15-18 September 2003, Vrije Universiteit Brussel, Brussels, Belgium, 2003, Vol. 1, pp 3-8.